

SÜREKLİ, KARIŞTIRMALI TANK PROSESİNE SİSTEM TANIMLAMA TEKNİĞİNİN MATLAB ORTAMINDA UYGULANMASI

Gülay ÖZKAN¹ , Mustafa ALPBAZ²

ÖZET : Bu çalışmada sürekli, karıştırmalı tepkime kabının modeli sistem tanımlama tekniğine göre belirlenmiştir. Yöntem; polimerizasyon reaksiyonlarının sıcaklık kontrolünde olduğu gibi, kontrol ve model parametrelerini hesaplamada kolaylık sağlayacaktır. Sürekli, karıştırmalı tepkime kabının ARX ve ARMAX modellerinin belirlenmesi amacıyla sisteme Sahte Rastgele İkili Ardışık Sinyal (P.R.B.S) verilmiş ve kontrol edilen değişken olan tepkime kabı sıcaklık değerleri sistemden alınmıştır. Kaydedilen giriş/çıkış verileri MATLAB ortamında değerlendirilerek doğrusal ARX ve ARMAX modellerinin derecesi ve parametreleri belirlenmiştir. Model parametrelerinin belirlenmesinde En Küçük Kareler yöntemi kullanılmıştır. En uygun modelin seçiminde oto korelasyon, çapraz korelasyon grafikleri ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC) inden faydalanılmıştır. Sonuç olarak ARMAX modelin sürekli, karıştırmalı tepkime kabını temsil eden en iyi model olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER : Sistem tanımlama, Karıştırmalı ve sürekli tepkime kabı, Parametre belirleme.

APPLICATION OF THE SYSTEM IDENTIFICATION TECHNIQUE TO A CONTINUOUS STIRED TANK PROCESS USING MATLAB TOOLBOX

ABSTRACT : In this paper, a continuous stirred tank reactor was modeled by using the system identification technique. This technique is useful to calculation control and model parameters such as temperature control of polymerization reactor. A pseudo-random binary sequence (PRBS) was utilized as a forcing function in order to identify ARX and ARMAX models of the system and the system output which was tank temperature was measured. Input and output data were collected from system and ARX and ARMAX models degree and parameters were evaluated by using least square method with MATLAB function, In order to test the model validation, auto correlation, cross correlation plots and information theoretic criterion (AIC) were used. The best model of continuous stirred tank reactor was determined as ARMAX model.

KEYWORDS : System identification, continuous stirred tank reactor, Parameter estimation.

^{1,2} Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Kimya Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, ANKARA

I. GİRİŞ

Kimyasal proseslerin modellenmesi iki şekildedir. Bunlardan birincisi kütle ve enerjinin korunumuna dayalı, reaksiyon kinetiği, taşınım olayları ve termodinamik bilgilerini kullanarak oluşturulan modeller, ikicisi ise ampirik, polinom tipi modellerdir.

Pratikte proses modellerini uygun ve ekonomik olarak çıkarmak zor olduğundan proses modelleri, tanıma teknikleri yardımıyla belirlenmektedir. Bu amaçla sistem tanımlama teknikleri kullanılmaktadır. Sistem tanımlama; sistemden elde edilen verilere dayanılarak sistemin dinamik modelinin oluşturulmasıdır. Bu işlem verilen modelin çıktıları ile sistemden alınan çıktılar tutarlı olana dek model parametrelerinin ayarlanması ile yapılır. Modelin iyi olup olmadığı, çıktılarının gerçek verilerle uyumlu olup olmadığına bağlıdır [1].

Sistem tanımlama teknikleri, birbirini tamamlayan beş basamak altında incelenecek olursa;

1. Sistemden girdi ve çıktı verileri alınır. Bu veriler kullanılarak amaca yönelik modeller ortaya koyulur.
2. Bundan sonraki aşama belirleme aşamasıdır. Belirleme aşamasında verinin özelliklerinin incelenmesinden elde edilecek bilgilere dayanarak genel modellerden uygun olabilecekler seçilir ve uygun model seçildikten sonra bu modelin derecesi belirlenir.
3. Sistem tanımlamada üçüncü basamak parametre tahmin aşamasıdır. Tahmin aşamasında belirlenen modelin katsayıları en etkin istatistiksel yöntemlerle tahmin edilmeye çalışılır.
4. Uygunluk testi aşaması, derecesi ve parametreleri belirlenmiş modelin gerçekten uygun olup olmadığının analizi için yapılır.
5. Sistem tanımlamanın beşinci ve son aşaması ise öngörüdür.

Bütün bu işlemler tamamlandıktan sonra öngörülen model eğer uygun değil ise belirleme aşamasına geri dönülür [2,3].

Arkun ve arkadaşları 1993 yılındaki kontrol çalışmaları için ARMA tipi model belirlemişlerdir[4]. Alpbaz ve arkadaşları 2002 yılında pH kontrol algoritması için sistem tanımlama tekniklerini uygulayarak bir nötralizasyon prosesinin modelini belirlemişlerdir [5]. Yine aynı araştırmacılar 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada optimum işletim koşullarında polistiren reaksiyonun gerçekleştirmişler ve sıcaklık kontrolünün geliştirilmiş tahmin edici kontrol algoritması ile yapmışlardır. Kullandıkları prosesi ARIMAX tipi modelle ifade etmişlerdir. Bunun için sistem tanımlama tekniğini kullanmışlardır[6].

Bu çalışmada soğutma ceketli karıştırmalı tank için ileride kontrol çalışmalarında kullanılabilmesi ve polinom tipi modeller olmaları dolayısıyla ARX ve ARMAX (*Auto Regressive Moving Average eXogenous*) modelleri üzerinde çalışılmış ve bu modellerin dereceleri ve parametreleri hesaplanmıştır. Model geçerliliği için AIC (Akaike Bilgi Kriteri) kriterinden faydalanılmıştır.

II. SİSTEM TANIMLAMA TEKNİĞİ

Öncelikle sisteme uygun bir girdi (etki) verilip sistemden girdi ve çıktı verileri on-line yada benzetim çalışmasından toplanılır. Prosesin uygun model tipleri belirlenir.

II.1 BELİRLEME

Belirleme aşamasında verinin özelliklerinin incelenmesinden elde edilecek bilgilere dayanılarak genel modellerden uygun olanlardan seçilir. Diğer bir deyişle sistemden alınan girdi ve çıktılar incelenerek hangi modelin incelenen sisteme uygun olacağı araştırılır. Geçici olarak uygun modele karar verildikten sonra sıra seçilen bu modelin mertebesinin belirlenmesi aşamasına gelir. Mertebenin belirlenmesi için AIC (Akaike Bilgi Kriteri), SBC (Schwartz Bayesion Kriteri) vb. gibi çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [7].

II. 1.1 ARMAX VE ARX MODELLERİ :

- Doğrusal proses modeli **ARX** aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$A(q) y(t) = B(q) u(t-nk) + e(t) \quad (1)$$

- Doğrusal proses modeli **ARMAX** ise şu şekilde ifade edilir;

$$A(q) y(t) = B(q) u(t-nk) + C(q) e(t) \quad (2)$$

na, nb, nc : Arx ve Armax Modelin y,u ve c'ye göre derecesi

nk : zaman gecikmesi

$$A, B, C' \text{ yi açık yazacak olursak; } \quad \mathbf{na} : A(q) = 1+a_1q^{-1}+\dots+a_{na}q^{-na} \quad (3)$$

$$\mathbf{nb} : B(q) = b_1+b_2q^{-1}+\dots+b_{nb}q^{-nb+1} \quad (4)$$

$$\mathbf{nc} : C(q) = 1+c_1q^{-1}+\dots+c_{nc}q^{-nc} \quad (5)$$

Armax modeli şu şekilde yazabiliriz ;

$$y(t)=\mathbf{x}^T(t)\mathbf{Q}^T+e(t) \quad (6)$$

$$y(t)+a_1y(t-1)+\dots+a_{na}y(t-na)=b_1u(t-nk)+\dots+b_{nb}u(t-nk-nb+1)+e(t)+c_1e(t-1)+\dots+c_{nc}e(t-nc)$$

$$\mathbf{Q}^T = [a_1, a_2, \dots, a_{na}, b_0, b_1, \dots, b_{nb}, d_0, c_1, c_2, \dots, c_{nc}]$$

$$\mathbf{x}^T=[y(t-1), y(t-2) \dots y(t-na), u(t-1), u(t-2) \dots u(t-nb-1), 1, e(t-1) \dots e(t-nc)] \quad (7)$$

\mathbf{Q}^T : parametre vektörü

\mathbf{x}^T : veri vektörü

n : veri sayısı

Bilinmeyen parametreler En Küçük Kareler Yöntemince bulunur.

II. 1.2 AKAIKE BİLGİ KRİTERİ (AIC) :

Bir model belirlenirken model dereceleri başlangıçta büyük alınarak, mümkün olan en yüksek dereceden başlanarak en uygun modele gidilebilir. Fakat model dereceleri yüksek alındığında tahminler istenilmediği gibi çıkabilir. Örneğin model derecesini yüksek aldığımızda daha çok işlem yapmamız gerekebilir. İşte AIC Kriteri bu işlemleri en aza indirecek model derecelerinin belirlenebilmesi içindir.

Buna göre en uygun model AIC değerini minimum yapan derece (p,q) değerleri seçilerek bulunur. Bunun için olabilecek bütün modeller için tahminler hesaplanır ve

AIC istatistiğinin en küçük olduğu model, seçilen modeller arasında verilere en uygun olanıdır.

AIC istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$AIC = \ln(SSE) + 2r \quad (8)$$

SSE : Modelden elde edilen artıkların karelerinin toplamı

r : Tahmin edilen parametrelerin sayısı

II. 2 PARAMETRE TAHMİNLERİ

İncelenen sistem için en uygun model belirlendikten sonra istatistiksel yöntemler kullanılarak model parametrelerinin geçici tahminleri yapılır. Geçici parametre tahminleri sistem için elde edilecek son modelin ne biçimde olacağı hakkında ve parametrelerin etkin tahminlerinin yapılmasında başlangıç değerlerini ortaya koyar.

Literatürde parametrelerin bulunabilmesi için birçok doğrusal regrasyon algoritması kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları En Küçük Kareler Yöntemi, Kalman Yöntemi, Bierman Yöntemi olarak verilebilir.

$$E = \sum_{i=1}^n (d_i - f_i)^2 \quad (9)$$

f_i : Geliştirilen model sonuçlarında elde edilen kuramsal veri

d_i : Deneysel veri

E : Hata enerjisi

$$f_{n+1} = G_{n \times m} P_{m \times 1}$$

E.K.K.Y'inde amaç hata enerjisini minimum yapmaktır. Bu amaçla (9) nolu denklemde E değerinin parametrelere göre türevinin alınıp sıfıra eşitlenmesi ile, parametre vektörü (10) nolu eşitlik gereğince hesaplanır ($G^T = G$ matrisinin Transposesi).

$$P = (G^T G)^{-1} G^T d \quad (10)$$

Doğrusal fark eşitlik modeli (ARMAX) mertebesinin kontrol çalışmaları için çok büyük olması istenmez. Bu nedenle 2. veya 3. değeri kontrol çalışmaları için tercih edilir. Mertebenin çok küçük olması ise proses dinamiğini yeterince tahmin edemez ve model mertebesi altında parametre tahmini gerçek olur.

II. 3 UYGUNLUK TESTLERİ

Uygunluk testleri örnekleme için öngörü hatalarının oto korelasyonlarını kullanarak belirleme ve etkin tahmin aşamaları sonucunda seçilmiş bulunan modelin sistem için uygun olup olmadığını gösterir.

Bir modelin oto korelasyonlarına bakıldığında sistemin sezgisel olarak hangi modele uygun olduğu hakkında karar verilebilir. Fakat modelin mertebesi hakkında karar verebilmek o kadar kolay olmayabilir. Bundan dolayı mertebe testi için AIC vb. gibi çeşitli kriterlere başvurulmaktadır. Oto korelasyon fonksiyonu, olası en uygun modelin belirlenmesinde ve seçimlerinde kullanılan en önemli analiz sonuçlarıdır. Bu analizlerle modelin hangi yönde aksadığı belirlenir ve elde edilecek sonuçlardan daha uygun modellerin seçilmesi için ipuçları alınır.

Oto korelasyon iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini göstermektedir. Oto korelasyon katsayısı belli bir değer arasında olmalıdır. Oto korelasyonları grafiklerinin çizilmesi büyük yararlar sağlamaktadır. Eğer çizilen grafikte modelimizin sınırları belli bir band aralığı içinde kalıyorsa modelimiz sistem için uygun demektir.

Kısmi oto korelasyon fonksiyonu ise geçici olarak belirlenen olası uygun öngörü modellerinin n_a ve n_b gibi mertebelerinin ne olması gerektiğini ortaya koyar.

II. 4. ÖNGÖRÜ

Kontrol çalışmalarında en önemli kavramlardan biri de sistemin giriş değişkenine verilecek olan etki sonucunda çıkış değişkeni üzerindeki tepkilerin önceden kestirilmesidir. Yani elimizde bulunan bilgiler yardımıyla verilen etkiye sistemin bir veya birkaç adım sonra ne tarz bir tepki vereceğinin öngörülmesi sistem tanımlamanın en önemli adımlarından biridir. Bu işlem yapılırken kullanılan bilgi, geçmiş zamanlardaki gözlem değerleridir ve bu gözlem değerleri kullanılarak gelecek değerler için tahminlerde bulunulur. Yani bu bölümdeki amacımız; bize X değerleri verildiğinde

X_{n+1} değerini öngörmektir. Öngörülerin yapılabilmesi için önce modelin belirlenmesi gerekmektedir.

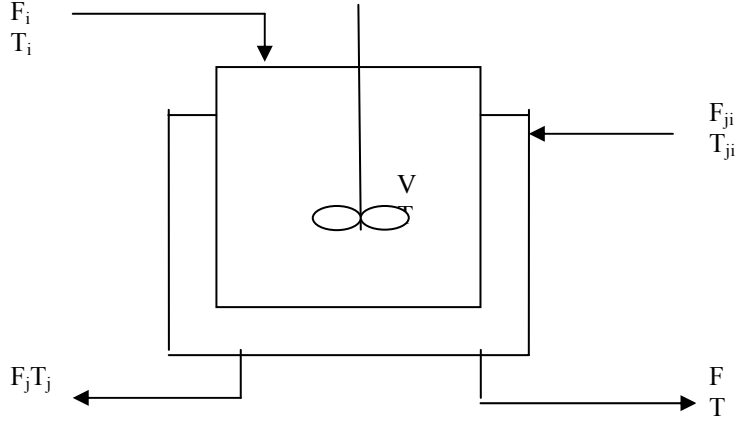
Bir sistem için öngörü yapıldığında modelden elde edilen öngörü değerleri gerçekleşmiş gözlem değerleri ile aynı olmayabilir. Bunun açıklaması sisteme gelecek dönemlerde etkiyecek olan düzensizlikler temel alınabilir. Bundan dolayı yapılan öngörü modeli her zaman tam olarak tanımlanma olasılığı olmayabilir. Bir sistem için öngörü yapılırken öngörü değerlendirme yöntemleri yalnızca doğruluk derecesine dayandırılmamalıdır. Çünkü doğruluk derecesi yüksek olan öngörü modelinin maliyeti sistemimizin sağlayacağı gelirden büyük olabilir. Dolayısıyla bir sisteme öngörü değerlendirme yöntemleri uygulanırken maliyet , gelir ilişkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

III. SOĞUTMA CEKETLİ KARIŞTIRMALI, SÜREKLİ TANKIN HAL UZAY (STATE SPACE) MODELİNİN OLUŞTURULMASI

- Hal Uzay (State space) model ve Aktarım (Transfer) fonksiyonun bulunması (doğrusallaştırma yapıldıktan sonra),
 - $\rho, V = \text{sabit} = C_p$
 - İyi karışma var.
 - $F_i, F_{ji}, T_i, T_{ji} \rightarrow$ değişken
 - $Q = U * A * (T_j - T_i)$
 - x: Sapma Değişkeni Çinsinden Hal Değişkeni (T, T_j)
u : Sapma Değişkeni Çinsinden Giriş Değişkeni (F_j, F, T_i, T_{jin})
 - y: Sapma Değişkeni Çinsinden Çıkış Değişkeni (T, T_j)

Yatışkın halde hal koşulları [8] :

$$\begin{aligned} F_s &= 1 \text{ ft}^3 / \text{dk} & \rho C_p &= 61.3 \text{ Btu} / ^\circ \text{F ft}^3 & \rho_j C_{pj} &= 61.3 \text{ Btu} / ^\circ \text{F ft}^3 \\ T_{is} &= 50 ^\circ \text{F} & T_s &= 125 ^\circ \text{F} & V &= 10 \text{ ft}^3 \\ T_{jis} &= 200 ^\circ \text{F} & T_{js} &= 150 ^\circ \text{F} & V_j &= 1 \text{ ft}^3 \\ Q &= (F / V) (T_i - T) + U A (T_j - T) / V \rho C_p & \rightarrow & U A &= 183.9 \text{ Btu} / ^\circ \text{F dk} \\ dT_j / dt &= (F_j / V_j) (T_{ji} - T_j) - U A (T_j - T) / V_j \rho_j C_{pj} & \rightarrow & F_{js} &= 1.5 \text{ ft}^3 / \text{dk} \end{aligned}$$



Şekil 1 : Sürekli karıştırılmalı tank

$$\left. \begin{array}{l}
 \dot{x}_1 = f_1(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m) \\
 \cdot \\
 \dot{x}_n = f_n(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m)
 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Dif.} \\ \\ \end{array} \quad x = f(x, u)$$

$$\left. \begin{array}{l}
 y_1 = g_1(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m) \\
 \cdot \\
 y_r = g_r(x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_m)
 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Ceb.} \\ \\ \end{array} \quad y = g(x, u)$$

Doğrusallaştırılmış matris; $A_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right|_{x_s, u_s}$ $B_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_j} \right|_{x_s, u_s}$
 $C_{ij} = \left. \frac{\partial g_i}{\partial x_j} \right|_{x_s, u_s}$ $B_{ij} = \left. \frac{\partial g_i}{\partial u_j} \right|_{x_s, u_s}$

Doğrusallaştırma işleminden sonra; $\dot{x}' = Ax' + Bu'$ $y' = Cx' + Du'$ ($x' = x - x_s$)

Hal Uzay Modeli $x' = Ax + Bu$ $y = Cx + Du$

LAPLACE modeli:

Transfer fonksiyonu $y(s) = G(s) u(s)$

$$G(s) = C(sI - A)^{-1} B \text{ bulunur.}$$

MATLAB' in **ss2tf** komutunu kullanarak;

$$G(s) = \underset{r \times m}{C} \underset{r \times n}{(sI - A)^{-1}} \underset{n \times n}{B} \qquad r = m \leftrightarrow \text{girdi} = \text{çıkı}$$

r : çıkış değişkeni, m : giriş değişkeni

$$G(s) = \begin{bmatrix} g_{11}(s) & g_{12}(s) & \dots & g_{1m}(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{r,1}(s) & g_{r,2}(s) & \dots & g_{r,m}(s) \end{bmatrix}$$

$$G(s) = \frac{\begin{bmatrix} g_{1,1} & g_{1,2} & g_{1,3} & g_{1,4} \\ g_{2,1} & g_{2,2} & g_{2,3} & g_{2,4} \end{bmatrix}}{\text{den}}$$

$$y_1(s) = g_{11}(s) u_{1,s}$$

$$G(s) = \frac{\begin{bmatrix} 15 & -7.5s-33.75 & 0.1s+0.45 & 0.45 \\ 50s+20 & -22.5 & 0.3 & 1.5s+0.6 \end{bmatrix}}{s^2 + 4.9s + 0.9}$$

Transfer Fonksiyon $g_{11}(s) = (15 / s^2 + 4.9s + 0.9)$:

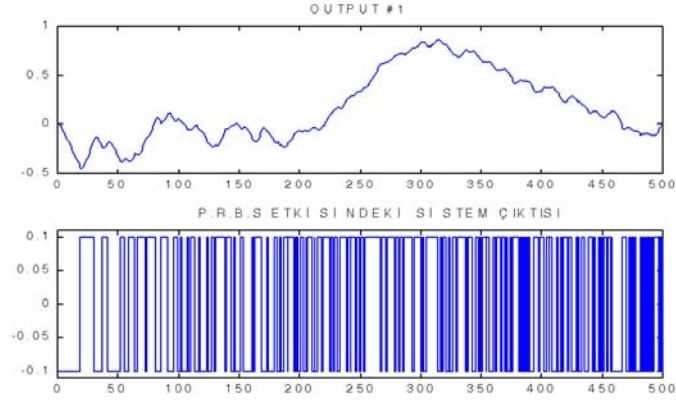
Çıkış değişkeni : Tank sıcaklığı

Giriş değişkeni : Ceket akış hızı

$$g_{11}(s) = (15 / s^2 + 4.9s + 0.9) * (0.9 / 0.4) = 16.6667 / 1.1111s^2 + 5.4444s + 1$$
$$g_{11} = [16.6667 / (0.21236s + 1) (6.23207 s + 1)]$$

IV. SONUÇLAR

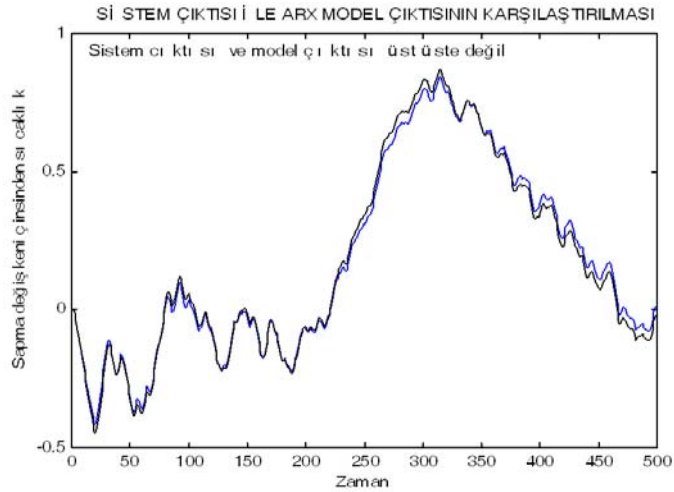
Şekil 2’de yukarıdaki aktarım (transfer) fonksiyonu kullanılarak giriş değişkeni olan ceket akış hızına verilen ve büyüklüğü -0.1 ile 0.1 arasında olan sahte ikili ardışık sinyal (PRBS) sonucu çıkış değişkeni olan tank sıcaklığı üzerindeki etkisi



Şekil 2 : PRBS altındaki sistem çıktısı

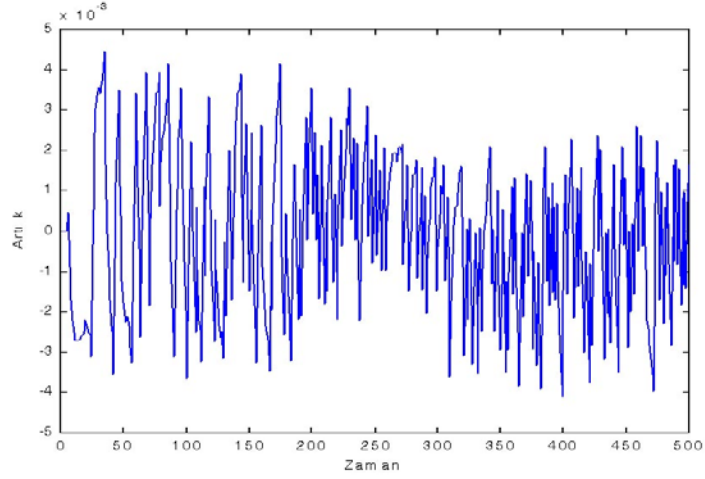
görülmektedir.

Şekil 2’de elde edilen girdi ve çıktı verileri kullanılarak MATLAB ortamında arxstruc komutu ve AIC kriteri kullanılarak tarama ile en uygun model derecesi $n_a=1$, $n_b=5$ ve ölü zaman $n_k=1$ olarak belirlenmiştir.



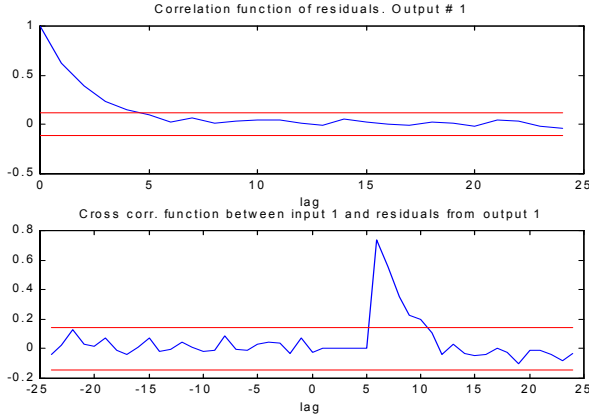
Şekil 3 : Sistem çıktısı ile ARX model çıktısı

Şekil 3’de MATLAB’ın compare komutu kullanılarak arx model ile sistem çıktısının karşılaştırması verilmiştir. Şekil 3’de sistem ve model çıktılarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4’de arx model hataları (artık) verilmiştir.



Şekil 4 : ARX model hataları

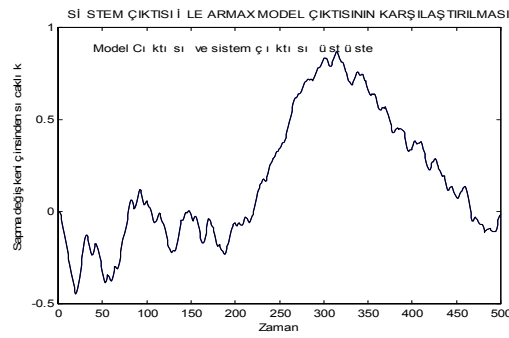
Sadece çıktıları karşılaştırarak veya hatalara bakarak modelin uygun olup olmadığına karar veremeyiz bu nedenle oto korelasyon ve kısmi oto korelasyon fonksiyonlarının grafiklerini incelememiz gerekmektedir .



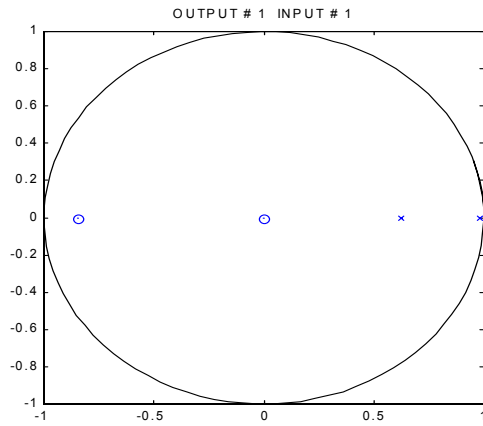
Şekil 5 : Oto korelasyon ve kısmi oto korelasyon grafikleri

Şekil 5’de verilen band arasında sivri bir pik görüldüğü için model derecesi ve ölü zaman yanlış belirlenmiş olayın rastlantısal olduğu sonucuna varılmıştır. Buna göre bu modelin sistemimizi iyi tanımlayamadığı söylenebilir.

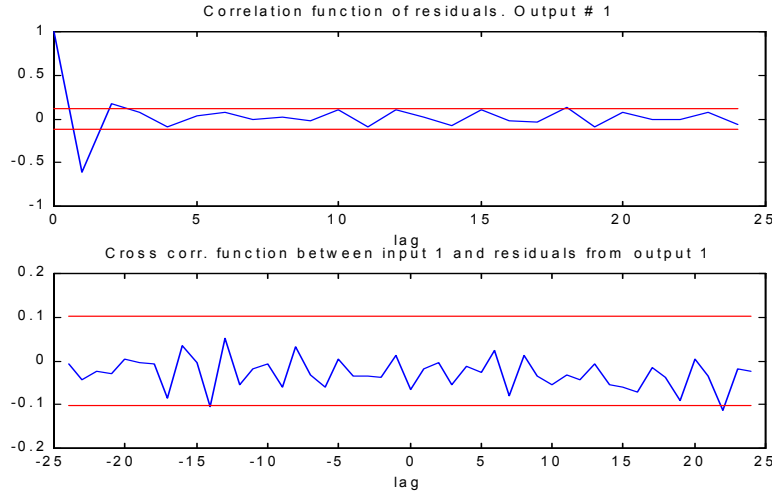
Tüm bu işleri ARMAX tipi model için tekrarlayacak olursak ; Şekil 6’de mertebesi $a=2$ $nb=3$ $nc=5$ ve ölü zamanı $nk=1$ olan ARMAX model ile sistem çıktısı verilmiştir. Karşılaştırma sonucunun olumlu olduğu görülmektedir. Bu sistemin kutupları ve köklerinin birim çemberde yeri Şekil 7 de verilmiştir. Bunun için MATLAB ortamında zpplot komutundan faydalanılmıştır.



Şekil 6: Sistem çıktısı ile ARMAX model çıktısı



Şekil 7 : ARMAX kutupları ve köklerinin birim çemberdeki yeri

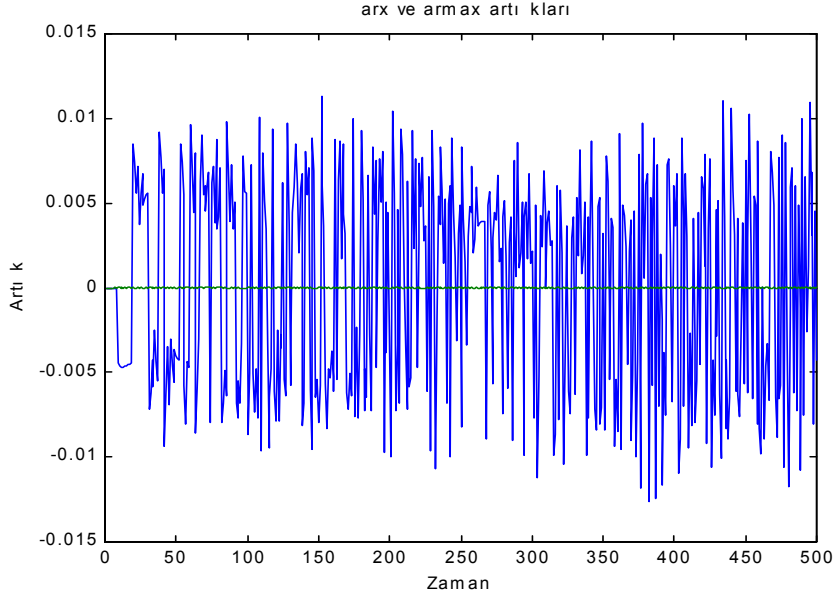


Şekil 8 : Oto korelasyon ve kısmi oto korelasyon grafikleri

Şekil 8’de verildiği gibi oto korelasyon ve kısmi oto korelasyon grafikleri belirli bir band aralığı içinde kaldığından dolayı ARMAX modelin sistemimizi iyi bir şekilde temsil ettiği söylenebilir. ARMAX ve ARX model hatalarını karşılaştırması Şekil 9’da verilmiştir. Buna göre ARMAX hataları yok denecek kadar azdır.

Sonuç olarak ARMAX modelin Soğutma ceketli Tepkime Kabını Temsil eden en iyi model olup aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$y(t) = 0.6055y(t-1) - 0.6126y(t-2) + 0.0641u(t-1) + 0.0544u(t-2) + e(t) + 0.6276e(t-1) + 0.3996e(t-2) + 0.1651e(t-3) + 0.1629e(t-4) + 0.1058e(t-5)$$



Şekil 9. ARMAX ve ARX model hatalarının karşılaştırılması

KAYNAKLAR

- [1] G. Özkan, M. Alpbaz, ‘ Sistem Tanımlama Teknikleri ve Uygulaması ‘ , *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol.10/2, pp.291-301, 1997
- [2] Haber R., Unbehauen H., ‘ Structure Identification of Nonlinear Dynamic Systems’, *Automatica*, Vol.26, pp.651-677, 1990.
- [3] Godfrey, K. R. , ‘Correlation Methods’ ,*Automatica*, Vol.16,pp.527-534,1980
- [4] E. Hernandez and Y. Arkun, ‘Control of nonlinear systems using polynomial arma models’. *AIChE*, Vol.39,pp. 446-451,1993.
- [5] Altuntaş S., Vural H., Özkan G., Hapoğlu H., Alpbaz ,M.” Nötralizasyon Prosesinin Kontrol Algoritması İçin Model Belirleme “,Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 2002 Ankara, Bildiri kitabı,ss. 543-549.

- [6] Albaz, M., Hapoğlu, H., Özkan, G., Experimental Application of Generalized Predictive Control at The Temperature in Polystrene Polymerization Reactor. *Chemical Engineering Communication*, Vol.191, pp.1173-1184, 2004.
- [7] Lennart Ljung , ' *System Identification Theory for the User* ' Prentice-Hall, New Jersey, 1987.
- [8]. B. Wayne Bequette, ' *Process Dynamics Modelling, Analysis and Simulation* ', Rensselaer Polytechnic Institute, 1998.